

廃砂たい積場の浸透流解析

(2018.3.22 第19回鈷山跡措置技術委員会資料)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門
人形峠環境技術センター

目次

1. 概要
2. 覆土内の雨水浸透流解析
3. まとめ

1. 概要

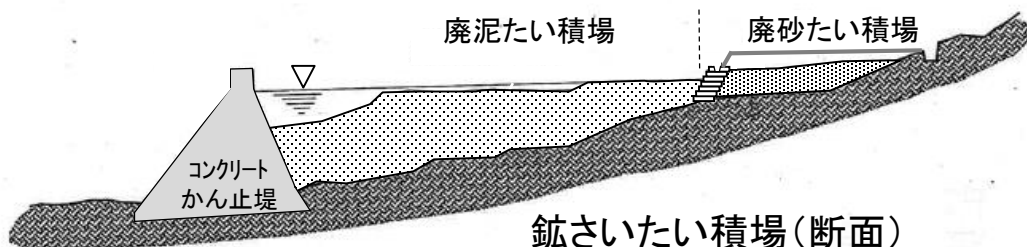
(1) 鉱さいたい積場の概要

● 経緯

- S39 鉱山保安法に基づく旧製錬所の鉱さいたい積場として認可
- S45 コンクリートかん止堤を設置
- S55 コンクリートかん止堤嵩上げ(1m)
- S62～H28 堤体健全性調査(約10年おきに実施)

● 現状

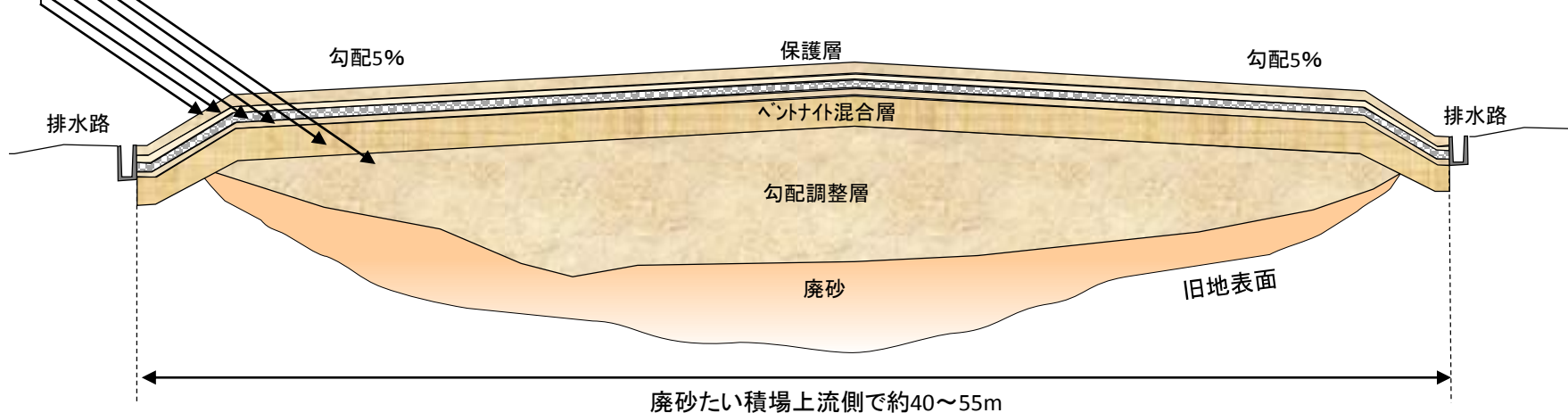
- ・認可たい積物及び量 鉱さい(廃砂・廃泥) 39,788m³
覆土 13,791m³
- ・たい積量 35,360 m³(H26.11月末現在)
- ・放射性核種濃度 U-238 平均約3.0Bq/g
Ra-226 平均約16Bq/g
- ・措置状況 廃砂たい積場措置工事終了(H23, 24)



1. 概要

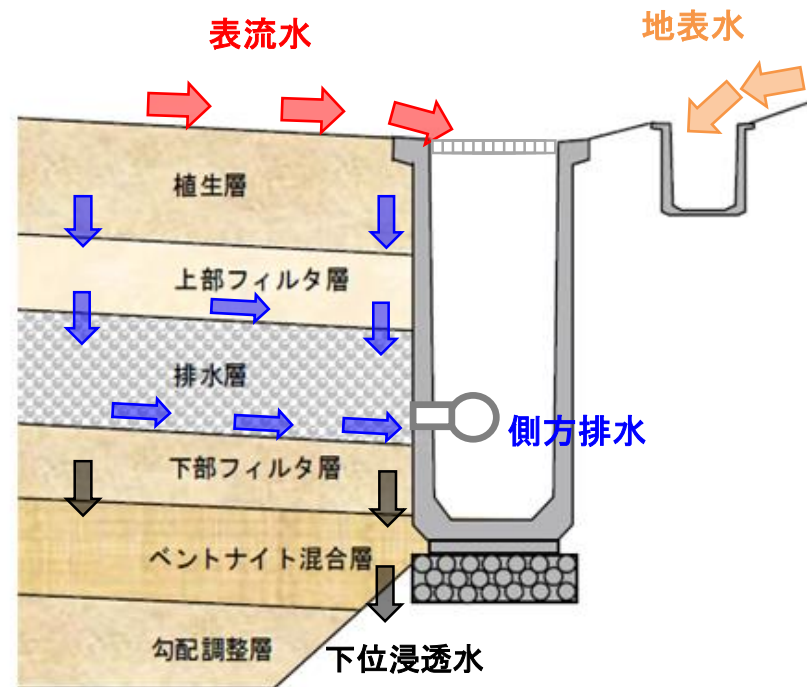
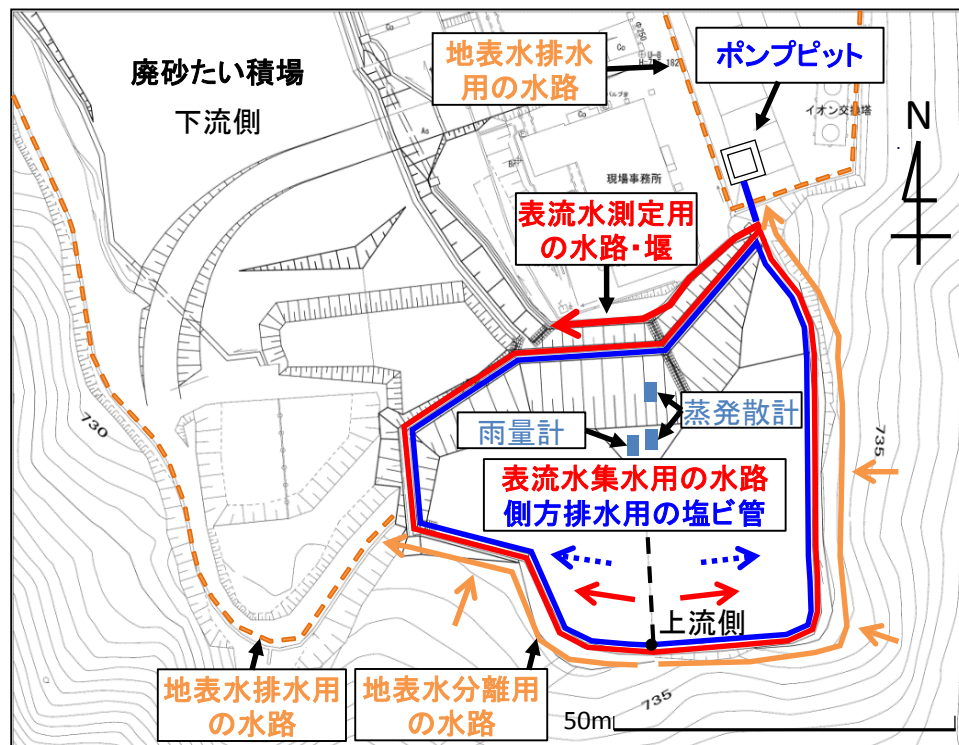
(2) 廃砂たい積場の覆土構造

層 名		材 料	目 的	厚 さ
保 護 層	植生層	まさ土	下位の上部フィルタ層の保護	30cm
	上部フィルタ層	砂	下位の排水層の目詰まり防止	20cm
	排水層	礫	浸透した雨水の側方への排水	30cm
	下部フィルタ層	まさ土	膨張したベントナイト混合土の流出防止	20cm
ベントナイト混合層		まさ土・ベントナイト (内割り17.2%)	側方排水に必要な難透水層設置	25cm(下流側) 50cm(上流側)
勾配調整層		まさ土	側方排水に必要な覆土全体の勾配確保	



1. 概要

(3) 覆土の排水機能に係る測定



表流水集水用の水路



表流水集水用の水路



表流水測定用の水路・堰



側方排水測定用のポンプピット



2. 覆土内の雨水浸透流解析

(1) 浸透流解析の概要

目的: 平成23年度から平成24年度に廃砂たい積場に設置した覆土に対して、側方排水量の測定値を指標として、覆土内の雨水の流れを解析し、浸透抑制効果を確認する。

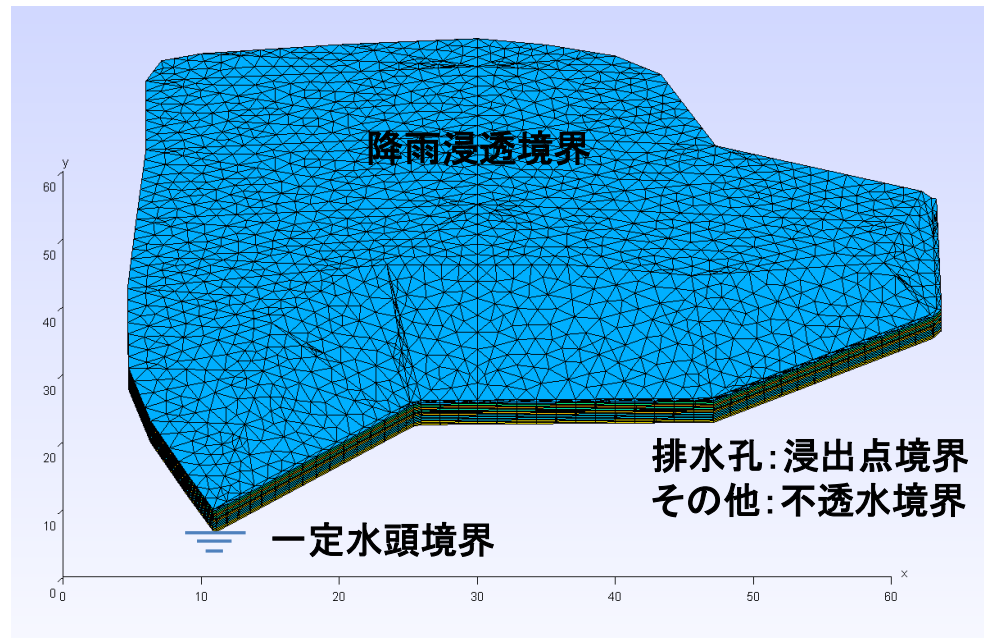
解析コード: DTRANSU-3D・EL (岡山大学西垣名誉教授、三菱マテリアル(株)、(株)ダイヤコンサルタント共同開発)

解析領域: 廃砂たい積場上流側覆土

降雨浸透境界条件: 降雨量等の気象条件、表流水量の測定に基づいて設定

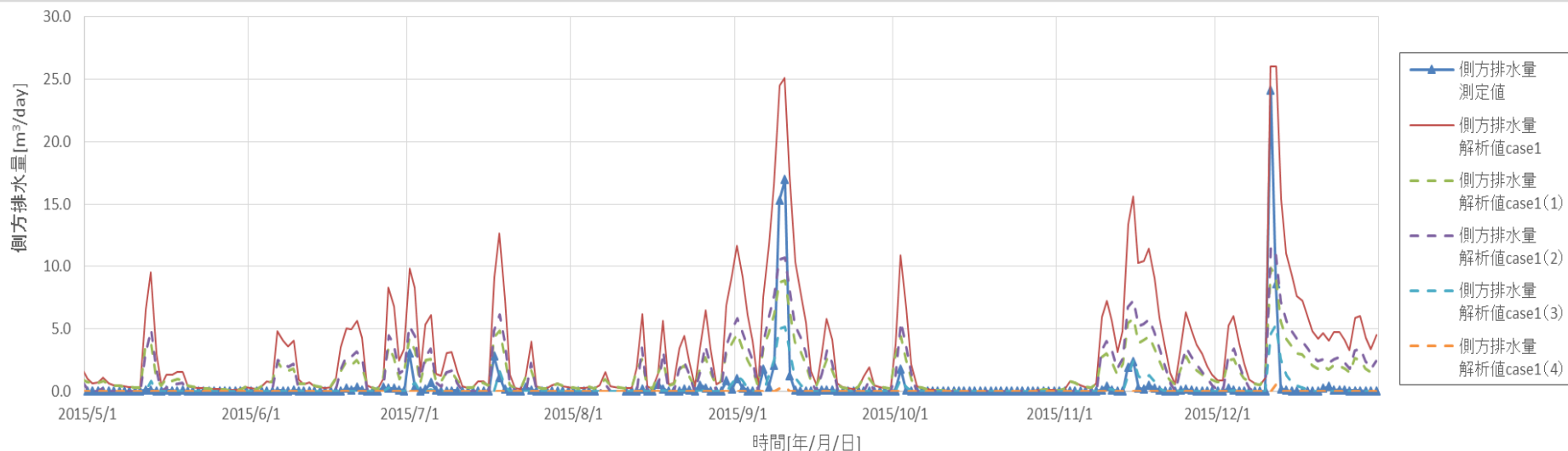
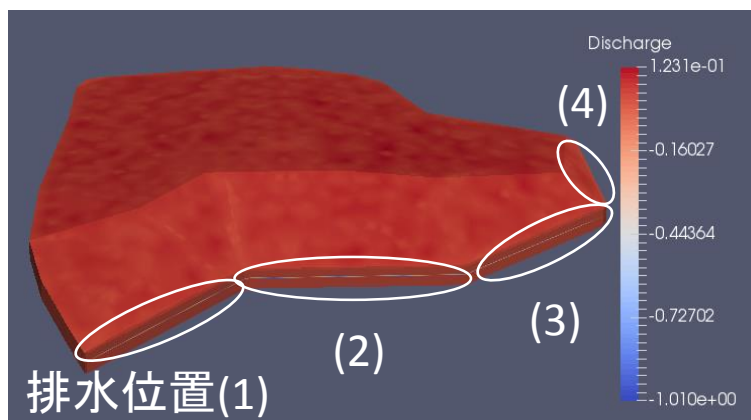
支配方程式:
$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_r K_{ij}^s \frac{\partial \varphi}{\partial x_j} + K_r K_{i3}^s \right) + q = (\beta S_s + C_s) \frac{\partial \varphi}{\partial t}$$

φ : 圧力水頭、 K_r : 比透水係数、 K^s : 飽和透水係数、 q : 湧き出し
 β : 飽和不飽和の指標、 S_s : 比貯留係数、 C_s : 比水分容量 (= 不飽和特性曲線の勾配 $d\theta/d\varphi$)



2.覆土内の雨水浸透流解析

(2) 既往モデルでの3次元解析



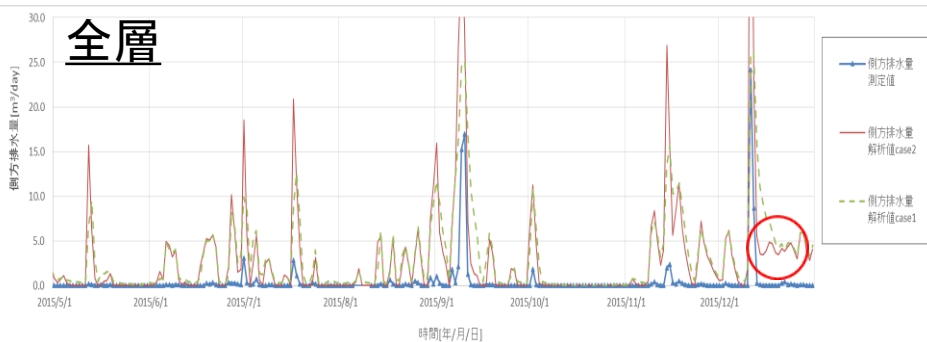
- ・覆土全体モデルでは平面部からの側方排水は見られず、**法面部からの側方排水のみ**となっている。これは**測定前の観察と一致**する。
 - ・側方排水量は**観測に比べて多く、短期間の排水**となっていない。
- ⇒全層及び各層の透水係数を変化させ、側方排水量への影響をみる。

2.覆土内の雨水浸透流解析

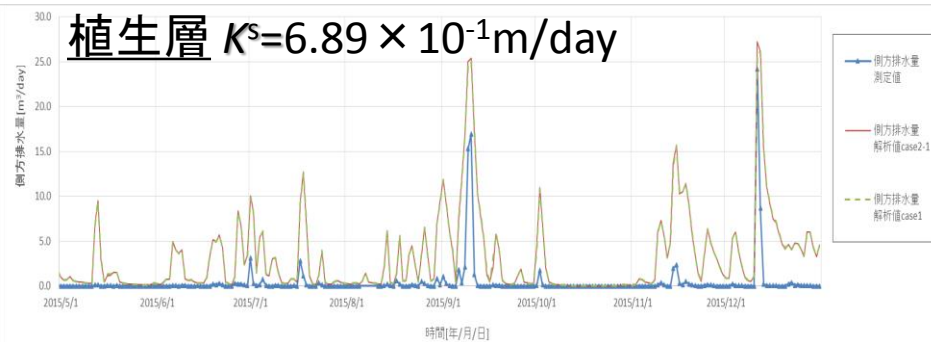
(3) 透水係数の影響

○全層及び各層の透水係数を10倍に上げて、透水係数の影響を確認した。

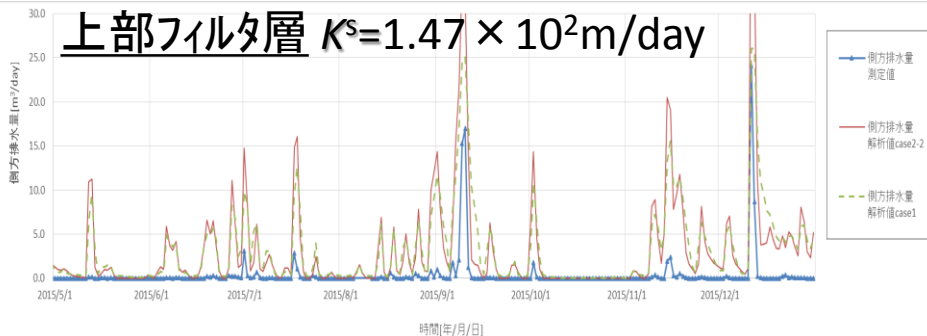
全層



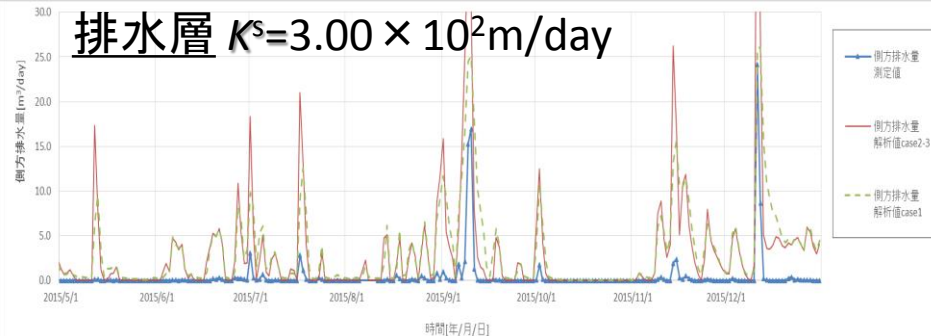
植生層 $K^s=6.89 \times 10^{-1} \text{m/day}$



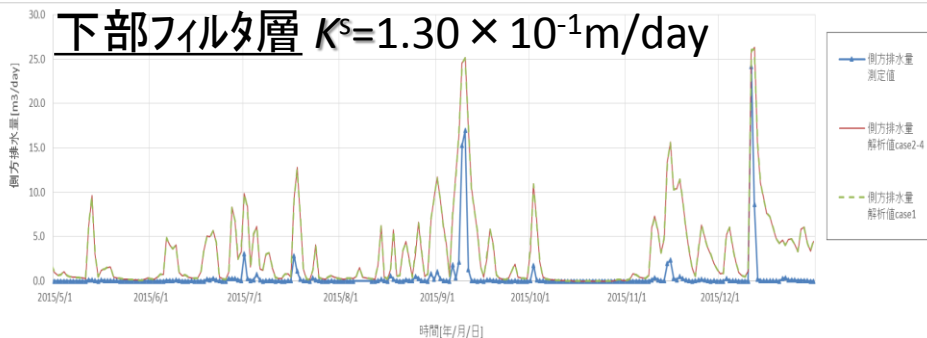
上部フィルタ層 $K^s=1.47 \times 10^2 \text{m/day}$



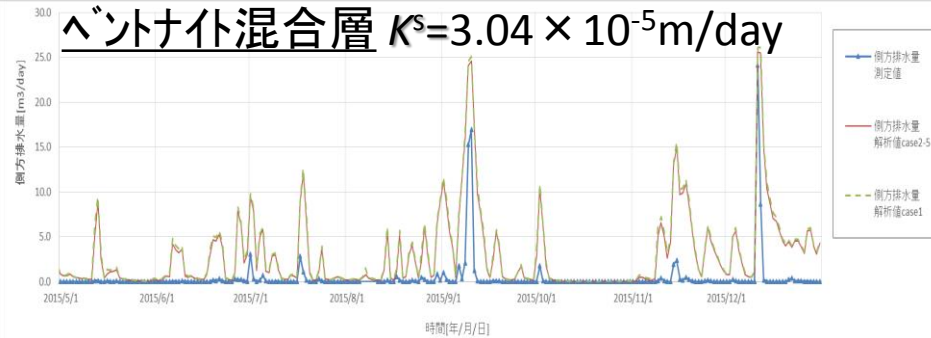
排水層 $K^s=3.00 \times 10^2 \text{m/day}$



下部フィルタ層 $K^s=1.30 \times 10^{-1} \text{m/day}$



ベントナイト混合層 $K^s=3.04 \times 10^{-5} \text{m/day}$

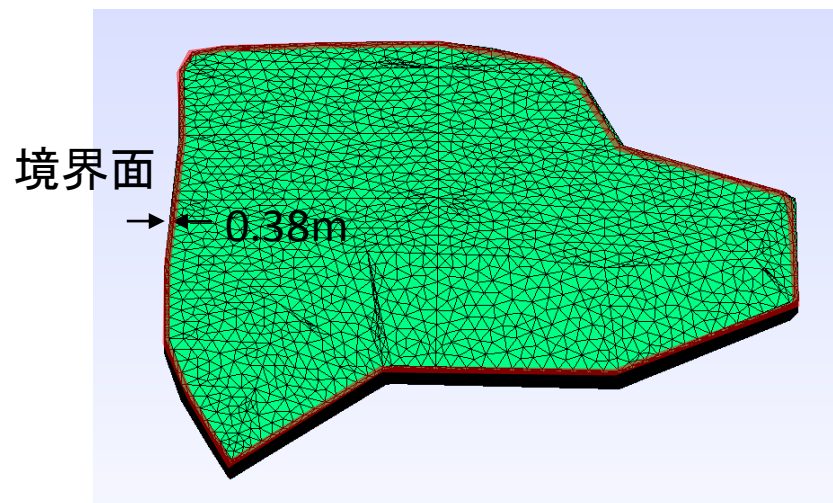


- ・透水係数を変化させた場合も観測に比べて側方排水量は多く、排水は継続する。
- ⇒観測では排水が長時間継続しないため、実際の覆土には局所的に透水係数の高い領域が存在するものと考えられる。

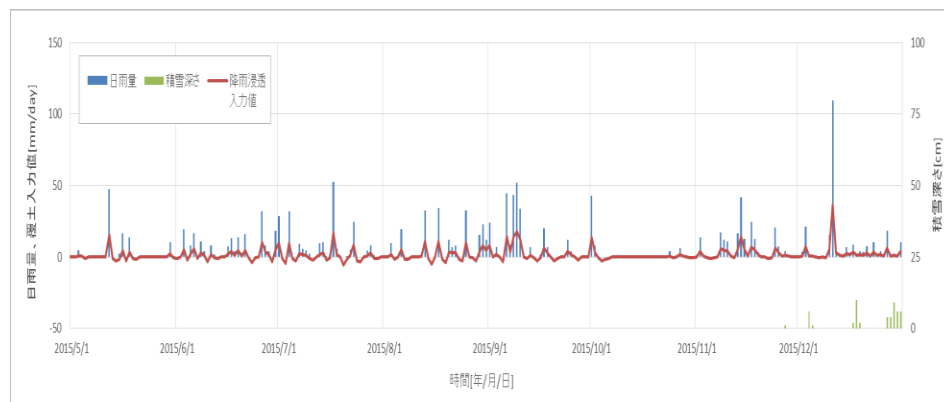
2.覆土内の雨水浸透流解析

(4) 水路・覆土間の境界面を考慮したモデル

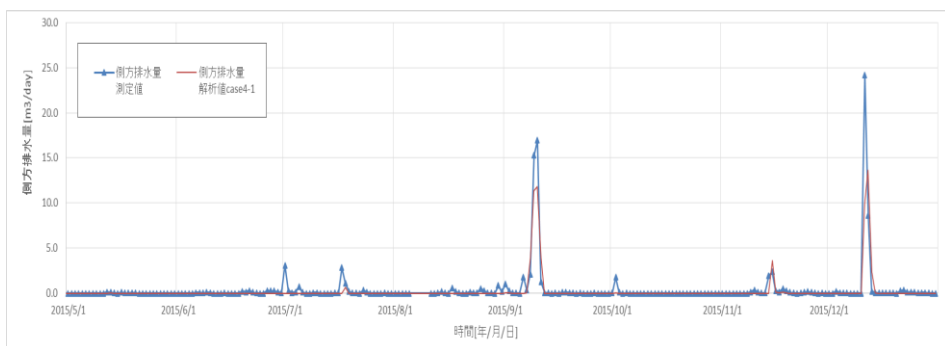
○局所的に透水係数が高い領域として、覆土の外周を囲む水路と覆土間の境界面の影響を想定した。



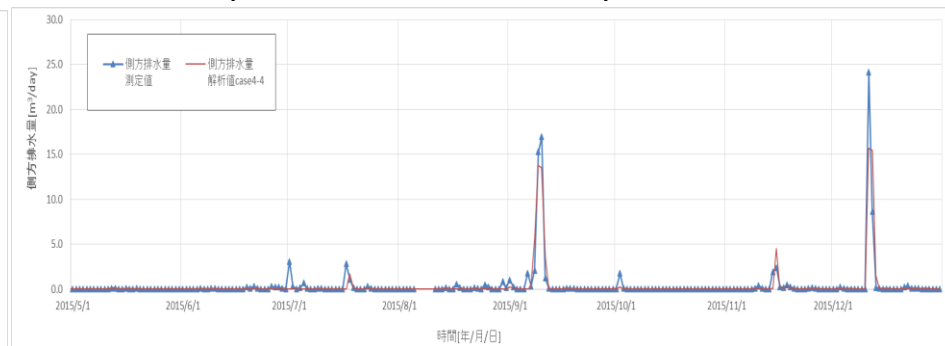
・降雨、覆土浸透量



・ $K^s=30\text{m/day}$ (排水層)、 $K^s=0.2\text{m/day}$ (境界面)



・ $K^s=45\text{m/day}$ (排水層)、 $K^s=0.2\text{m/day}$ (境界面)



側方排水量測定 合計97m³ 側方排水量解析 合計62m³ 側方排水量測定 合計97m³ 側方排水量解析 合計78m³

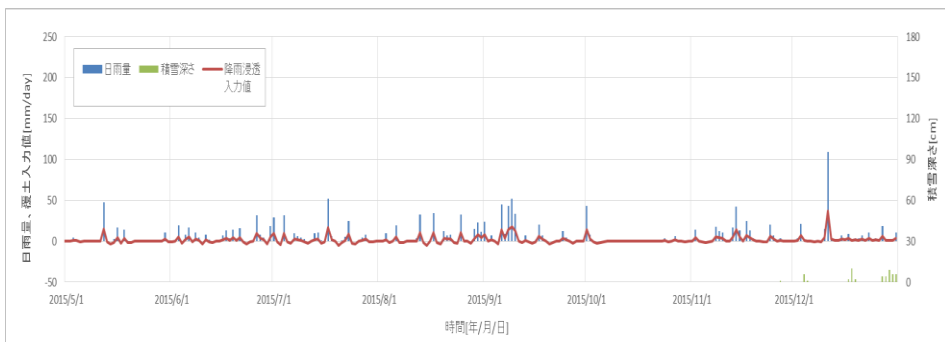
・排水層の透水係数、水路・覆土間の境界面の透水係数として、過大とならない値で側方排水量の測定結果の傾向を模擬できた。

2.覆土内の雨水浸透流解析

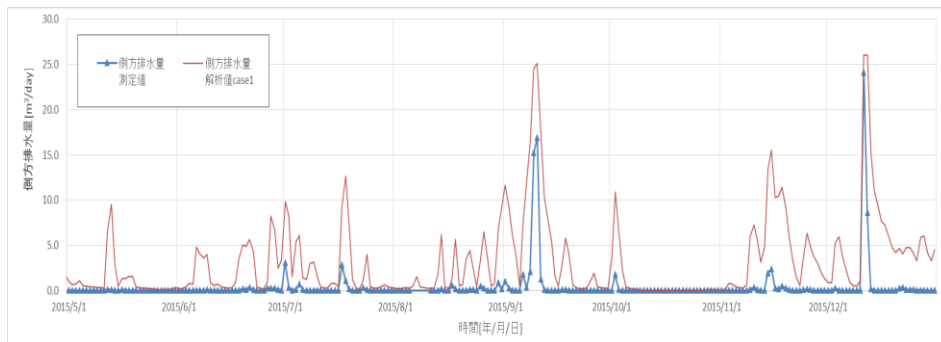
(5) 2015年の降雨等の条件での解析

○2015年の日雨量から推定した覆土内への浸透量に対して、境界面を設けない場合、設けた場合の側方排水雨量の解析結果をまとめた。

・降雨、覆土浸透量



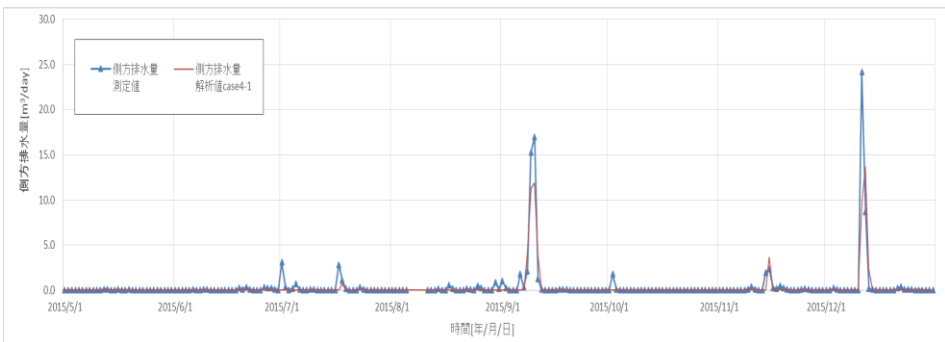
・既往のモデル(境界面の影響なし)



側方排水量測定 合計97m³
側方排水量解析 合計783m³

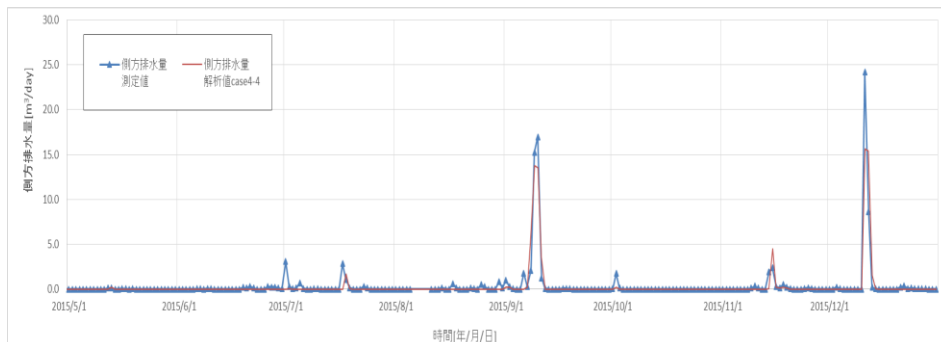
・排水路周りに境界面を設定した場合

$K^s = 30\text{m/day}$ (排水層)、 $K^s = 0.2\text{m/day}$ (境界面)



側方排水量測定 合計97m³
側方排水量解析 合計62m³

$K^s = 45\text{m/day}$ (排水層)、 $K^s = 0.2\text{m/day}$ (境界面)



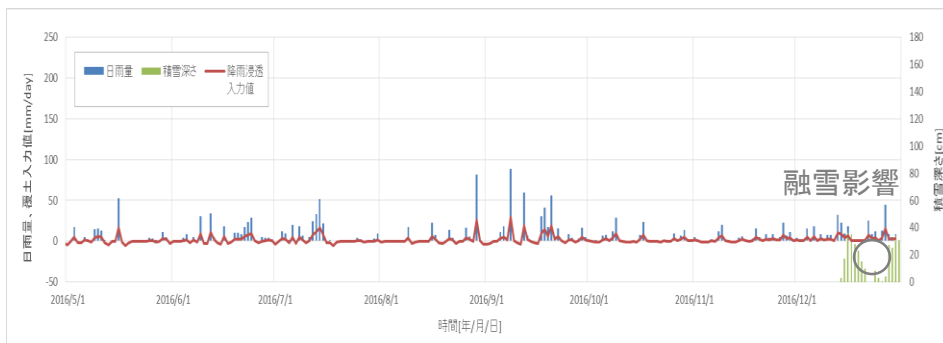
側方排水量測定 合計97m³
側方排水量解析 合計78m³

2.覆土内の雨水浸透流解析

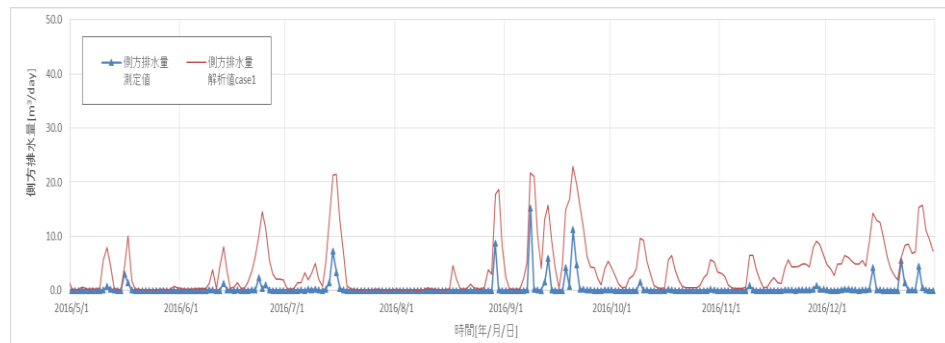
(6) 2016年の降雨等の条件での解析

○2016年の日雨量から推定した覆土内への浸透量に対して、境界面を設けない場合、設けた場合の側方排水雨量の解析結果をまとめた。

・降雨、覆土浸透量



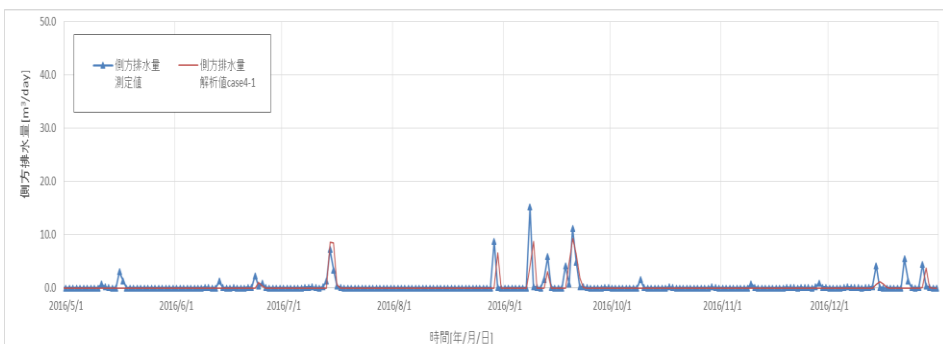
・既往のモデル(境界面の影響なし)



側方排水量測定 合計103m³
側方排水量解析 合計967m³

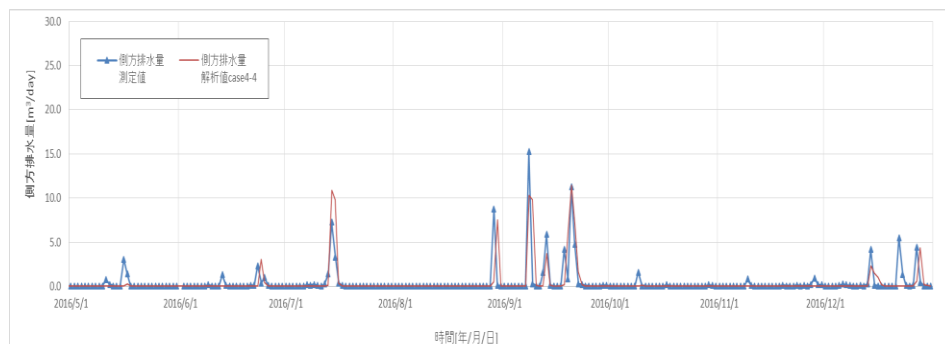
・排水路周りに境界面を設定した場合

$K^s = 30\text{m/day}$ (排水層)、 $K^s = 0.2\text{m/day}$ (境界面)



側方排水量測定 合計103m³
側方排水量解析 合計71m³

$K^s = 45\text{m/day}$ (排水層)、 $K^s = 0.2\text{m/day}$ (境界面)



側方排水量測定 合計103m³
側方排水量解析 合計94m³

2.覆土内の雨水浸透流解析

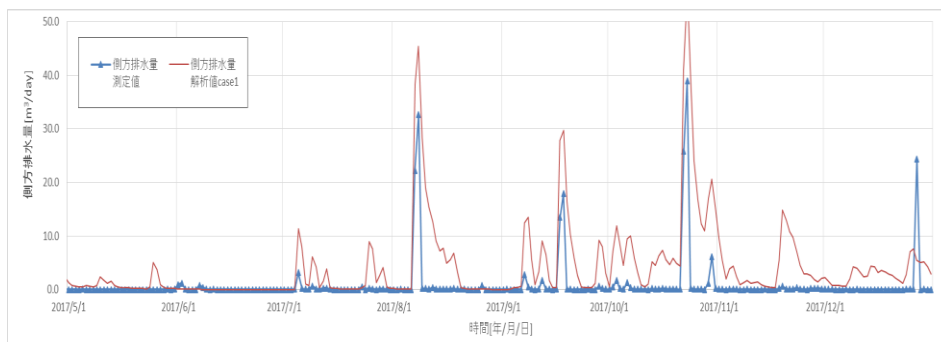
(7) 2017年の降雨等の条件での解析

○2017年の日雨量から推定した覆土内への浸透量に対して、境界面を設けない場合、設けた場合の側方排水雨量の解析結果をまとめた。

・降雨量、積雪深さ、覆土浸透量



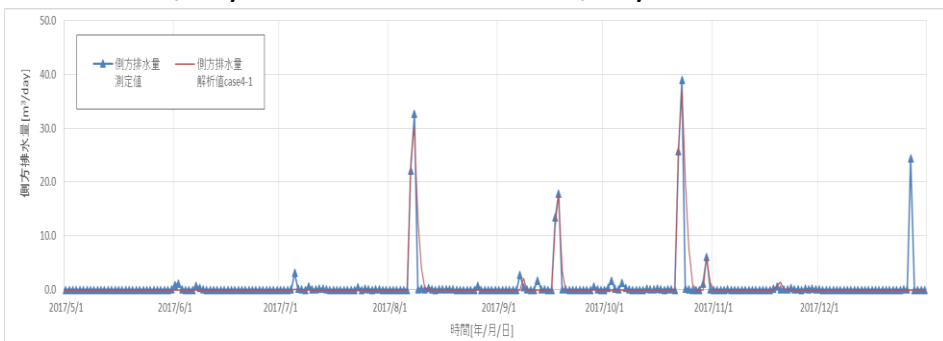
・既往のモデル(境界面の影響なし)



側方排水量測定 合計209m³
側方排水量解析 合計1047m³

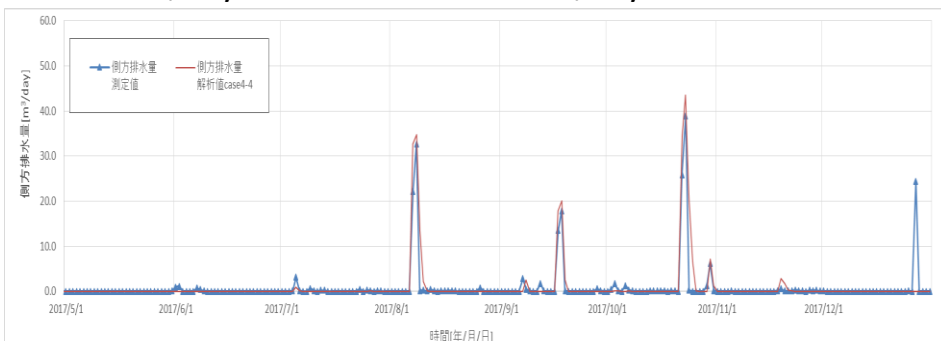
・排水路周りに境界面を設定した場合

$K^s = 30\text{m/day}$ (排水層)、 $K^s = 0.2\text{m/day}$ (境界面)



側方排水量測定 合計209m³
側方排水量解析 合計208m³

$K^s = 45\text{m/day}$ (排水層)、 $K^s = 0.2\text{m/day}$ (境界面)



側方排水量測定 合計209m³
側方排水量解析 合計247m³

3. まとめ

(1) 廃砂たい積場の浸透流解析

- ・側方排水量の観測量は降雨量、表流水量から推定される値に対して少なく、覆土下位への浸透が多いものと考えられる。
- ・覆土各層の透水係数を変化させたが解析の側方排水量は観測量に比べて多く、排水時間が長いため、**局所的に透水係数が高い領域**があるものと考えた。
- ・通常の覆土部分は50cm厚さのベントナイト混合層をもつ覆土構造であり、局所的に透水係数が高いことは考え難いため、排水路周りの**水路と覆土の境界面**の影響を想定した。
- ・排水路周りに水路と覆土の境界面の影響を考慮することで、幅広い降雨量に対して、ある程度**側方排水量の観測量を模擬**できた。
- ・水路と覆土の境界面として設定した部分の透水係数を下部フィルタ層と間隙の等価透水係数として考え、間隙の透水係数を礫層と同程度とすると間隙 D_2 はおおよそ2mmであり、実際の覆土においても考えられるものである。

$$\left(0.2[\text{m/day}] = \frac{K^s_1 D_1 + K^s_2 D_2}{D} \cong \frac{0.013[\text{m/day}] \cdot 0.38[\text{m}] + 45[\text{m/day}] \cdot D_2}{0.38[\text{m}]} \right)$$

3. まとめ

(2) 鉋さいたい積場の覆土設計時の留意点

○廃砂たい積場の浸透流解析【事後の解析】

廃砂たい積場の覆土の浸透流解析では、覆土施工後の表流量と側方排水量の測定結果に基づいて解析を行い、覆土の浸透流の状態を推定した。



○鉋さいたい積場の覆土設計時の浸透流解析【事前の解析】

鉋さいたい積場の覆土の浸透流解析では、条件を仮定して事前の覆土性能の評価・設計が必要となる。

鉋さいたい積場の覆土設計の際の留意点

- ・設計に準じた解析だけでは不十分であり、実際の構築物に対して考えられる水の流れを考慮した上で解析・設計を行う必要がある。
- ・設計思想と構築物との乖離に対する知識・経験が必要である。